

<資料> ウルトロパーク選鑛顕微鏡と其の應用

著者	和田 正美
雑誌名	東北大學選鑛製錬研究所彙報 = Bulletin of the Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy, Tohoku University
巻	10
号	2
ページ	217-230
発行年	1955-03-31
URL	http://hdl.handle.net/10097/32232

ウルトロパーク選鑛顯微鏡と其の應用

和田 正 美*

1. 緒 言

選鑛作業の對象である鑛物粒子は 2m 乃至數ミクロンに亘る極めて廣い粒度範圍内に存在し、その成分鑛物の種類も有用鑛物及び脈石類の大多數に及んでいる。又所謂貧鑛或は難鑛の處理、稀少鑛物の回收等に於ては (1) 有用成分の含有量が少い、(2) 成分鑛物の種類が多い、(3) 有用成分を單一粒子として遊離するに必要な破砕度が大きい、從つて (4) 破砕産物の單位重量を構成する粒子数が多い等の諸條件についても考慮を拂ふ必要がある。

最近の統計¹⁾によれば、選鑛青化經費の中碎磨鑛費の占める割合は平均34%、最高73%、又廢滓處理費の割合は平均7%、最高40%に當り、粗鑛が貧鑛或は難鑛の場合、碎磨鑛及び廢滓處理費が選鑛青化經費の相當割合を占める事が察知される。又單位重量當りの粒子数が多いことは選鑛機械の能力の低下を招き、選鑛經費を割高にするものである。

即ち貧鑛或は難鑛の處理、稀少鑛物の回收等に於ては概して粗鑛中に含有される有用成分の價値に比較して多額の經費を要する事が多く、技術的な問題は勿論、經濟的な制約が重要な條件をなす場合が起るのである。

斯る困難な選鑛問題の解決に對して鑛粒の顯微鏡的研究法が極めて有用である事は論を俟たぬ處であるが、この方法が選鑛の研究に取入れられたのは比較的小く、1913年に Singewald²⁾ が含チタン鐵鑛の研究に利用したのが最初であるとされている。其後もこの方面の發達は徐々であつたが、1918年頃から活潑となり、現在までに多數の研究が發表されるに到つた。³⁾⁴⁾ 今後この方面の研究は現行操業の成績向上、貧鑛及び難鑛の處理、稀少鑛物の回收等の諸問題と關連し益々活潑化するものと考へられる。

本報告は新しく考案されたウルトロパーク選鑛顯微鏡^{5)~8)}とその應用について述べたものである。

2. 装 置 の 概 説

寫眞1は當研究所に設置されたウルトロパーク選鑛顯微鏡とその部品の概觀を示す。本顯微鏡は次に擧げる特徴を有する。

(1) 實體選鑛顯微鏡⁹⁾¹⁰⁾の總合倍率は最高72倍迄であつて、檢鏡出来る粒子の粒度範圍は普通0.1乃至1mm、最大5mm或は10mmであるが、本顯微鏡は最高1,250倍の總合倍率を有し、普通0.5mm乃至5 μ 或

本報告の一部は昭和29年10月全國鑛業大會學術講演會に於て發表した。

* 東北大學選鑛製鍊研究所

1) 日本鑛業協會技術部：昭和28年度選鑛青化主要原單位並成績表。(1954), 223—241.

2) Singewald, J.T.: U.S. Bur. Mines, Bull. 64 (1913).

3) Schwartz, G.M.: Econ. Geol. 33 (1938), 440—453.

4) Edwards, A.B.: Textures of the Ore Minerals and Their Significance. (1947), 130—160, 163—166.
(三井金屬鑛業株式會社東京研究所三野英彦氏の御好意による。)

5) Aufbereitungsmikroskope. Ernst Leitz, Wetzlar, 1—26.

6) Diagnostische Kennzeichen und Bestimmungsmethodik bei der Untersuchung von Aufbereitungsprodukten mit dem ULTROPAK Aufbereitungsmikroskop. Sonderdruckschrift Nr. 8261, Ernst Leitz, Wetzlar, 1—16.

7) Ehrenberg, Hans: Z. Erzbergbau u. Metallhüttenw. 4 (1951), 285—328, 292, 293.

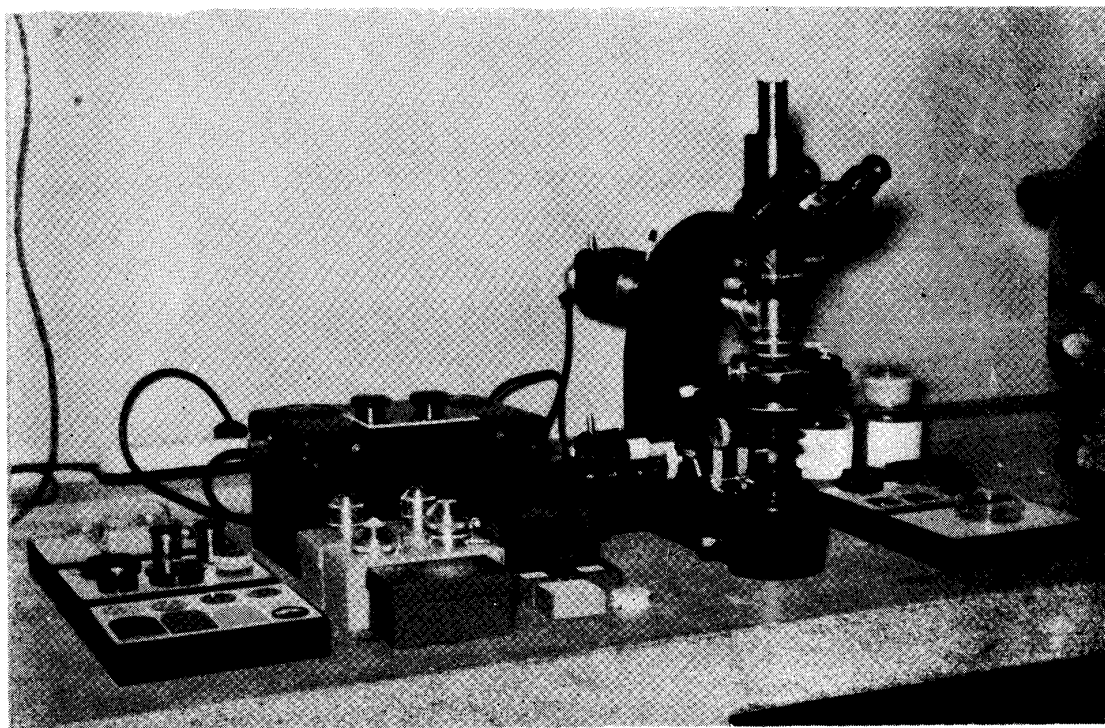
8) 選研彙, 8 (1952), 126—127.

9) Schneiderhöhn, H.: Anleitung zur mikroskopischen Bestimmung und Untersuchung von Erzen und Aufbereitungsprodukten, besonders im auffallenden Licht. Düsseldorf (1922).

10) 山田賀一：水曜, 5 (1926), 43—51.

はそれ以下、最大 2mm 迄の粒子特に浮選産物の検鏡に適する。

(2) 本顯微鏡の高倍率はウルトロパーク照明装置¹¹⁾の利用によるもので、照明光束は結像光束と完全に分離され、結像には試料によつて反射された光線のみが用ひられるため鮮明な像が得られ、鑛物に固有の色、光澤、吸光度等の鑑定が容易である。



寫 眞 1 ウルトロパーク選鏡顯微鏡とその部品
(向つて左上から)

低壓電球：6V, 5A, 2 ケ (豫備10ケ)
集光器用紅彩絞及びフィルター支持枠：(晝
光色フィルター, 磨硝子板附屬)
接眼鏡：B10×, 1 對
集光器前端レンズ
鏡脚用圓形硝子板
接眼鏡筒用圓形皮革板：3 枚
ウルトロパーク用フィルター：4 枚
照明函用金屬板, 晝光色フィルター, 磨硝子
板：(豫備各 1 枚)
ウルトロパーク用磨硝子板, 扇形絞
變壓器：110~220V, 50~, 最高 6A, 2 連式
對物鏡：UO60×, UO75×, UO11×用液浸コ

ーン, UO22×I.A., UO3.8× (箱入)
對物測微計：(箱入)
對物鏡絞：6 ケ (箱入)
接眼鏡網狀測微計：3 枚 (箱入)
鏡基：照明函 (低壓電球, 晝光色フィルター
付) 1 對, 接眼鏡 M6×, B6×1對, ウルト
ロパーク (偏光装置付), 對物鏡 UO11×,
十字動載物臺, 集光器, バリオカラー, 偏
射照明用紅彩絞
檢 鏡 試 料
顯微鏡薄片
ベトリ皿

(3) 本顯微鏡は 2 個の低壓電燈を光源とし、透射照明、落射照明及び之等の同時照明の切換及び照度の調節を直ちに行ひ得るようにしたもので、一般に透明鑛物と不透明鑛物の混合からなる選鏡産物の検鏡に特に便利であり、鑛物の色と反射の對照を強調することが出来る。

(4) 透射照明装置にはバリオカラー (Variocolor) と稱する透射光の色を Newton の干涉色の範囲内で連續的に變化し得る廻轉フィルターを取付けることが出来る。この装置によれば視野の色を鑑定しようとする鑛物の色に適するように調節出来る。即ち不透明鑛物はその固有の色と補色をなす透射光を使用する事により特に明確に表現され、非常に似た色の鑛物の識別も可能となる。従つて本装置は表面着色法による鑛物粒子の鑑別に利用することができる。

(5) 本顯微鏡は屈折率既知の浸液を使用する事により透明鑛物の形の判別及び屈折率の測定に適用出来る。微細な鑛粒に對しては沃化メチレンのような比重の高い浸液を用ひ、液層を厚くして有用鑛物と脈石の混合した鑛粒を覆硝子と載物硝子の間で二層に分離して、高倍率の對物鏡を用ひ焦準を調節して、有用鑛物層と脈石層が互に檢鏡を妨げない状態で別々に鑑定する事が出来る。

11) Ultropak for Observations in Incident Light at all Magnifications. Ernst Leitz, Wetzlar (1939).

(6) 本顯微鏡にはオルトルックス (Ortholux) と稱する大型の鏡基が用いられ、光源は鏡柱の上下に取付けられた別個の照明函内に夫々挿込まれるようになって居り、粗動及び微動装置は鏡柱の下端にあり、載物臺を上下することにより焦準が行はれる。鏡筒支持器は交換式で、垂直單眼及び傾斜双眼鏡筒が取付けられる。透射光により微細構造を調べる場合、或は浸液法に於て微小な屈折率の差を見分ける場合には鏡脚に偏射照明用紅彩絞が取付けられる。

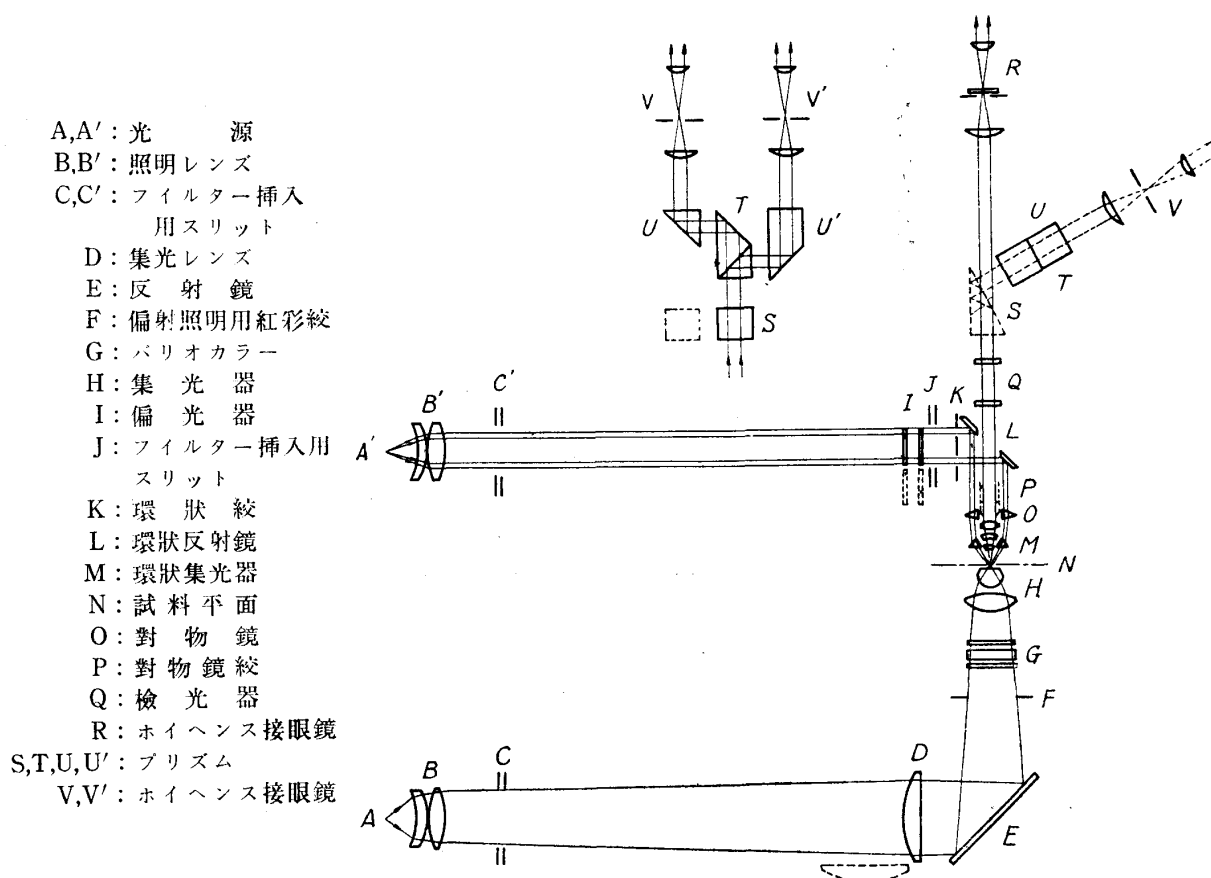
(7) 偏光鑛石顯微鏡による檢鏡は精密鑑定には不可欠のものであるが、試片の製作に相當の時間を要する許りでなく、粒子の大きさが 40μ 程度以下で、特に粒子と封入劑の硬度に差がある場合には粒子を平面に研磨する事が困難で、鑑定上支障を來す場合が少くない。本顯微鏡では細かに粉碎された選鑛產物の試料を豫め脱泥せずに、容器内で液中に浸漬した儘、或は載物硝子上の浸液中で覆硝子をかけた状態で、試料の損失を來すことなく、或は元の性質を變ずることなく、迅速に檢鏡し、豫め選鑛過程中に存在する事が知られている透明及び不透明鑛物を主として色、反射能、結晶形、表面の性質、劈開、斷口、共生状態等の外觀により鑑定するものであるが、必要に應じ吸光度、屈折率、包裹物、表面着色等を用ひることができる。

(8) 原鑛及び選鑛產物の化學分析は選鑛研究及び操業上不可欠のものであるが、選鑛操業管理の目的には迅速を缺く憾があり、有用成分の賦存及び分布状態を明かにするには鑛物組織の定量化を行い難い場合がある。本顯微鏡には接眼測微計、接眼網狀測微計、對物測微計、十字動載物臺、測微焦準裝置、顯微鏡寫眞裝置等が附屬して居り、有用鑛物及び脈石の含有率、原鑛及び產物の品位、鑛物粒子の粒度、單一及び複合粒子の含有率等を決定することが出来る。之を要するに本顯微鏡は選鑛方針の決定、選鑛過程の研究、操業の管理、產物分析上の手掛の發見等各種選鑛問題の解決に必要な選鑛鑛物學的基礎資料の提供に寄與するものである。

3. 装置の構成

a) 光の経路

第1圖は本顯微鏡に於ける光の経路を示す。



第1圖 ウルトロパーク選鑛顯微鏡に於ける光の経路

圖に於て A, A' は夫々透射及び落射照明用光源で、B, B' は夫々光源からの光を集光するレンズである。

C, C' は夫々磨硝子板, 晝光色フィルター, 金属板等を挿入するスリットで, 金属板は透射或は落射光線の何れか一方を迅速に遮蔽して検鏡する場合に用いられる。

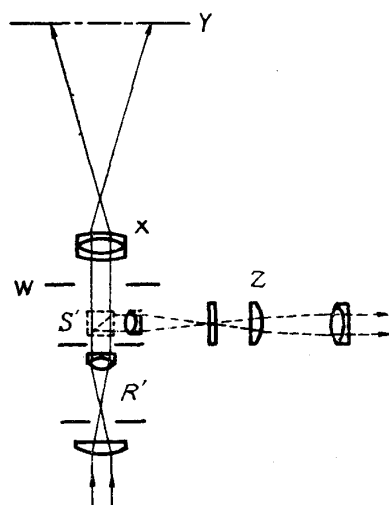
透射光により検鏡する場合, 照射光線は集光レンズ D, 反射鏡 E, 及び偏射照明用紅彩絞 F を経てバリオカラー G 及び二枚レンズ集光器 H に達する。バリオカラーは光軸に直角に切断された厚さ 6mm の石英板を二枚の偏光フィルターで挟んだもので, 下の偏光フィルターを 180° 廻轉する事によつて連続的に色を變化させる事ができる。白色光を用いて検鏡する場合にはバリオカラーは取外される。又バリオカラーの代りに普通の如く紅彩絞を取付けそのフィルター支持枠に磨硝子板, 晝光色フィルター等を載せる事も出来る。

落射光により検鏡する場合, 照明光線は環状絞 K 及び環状反射鏡 L を経て環状集光器 M に達する。環状絞 K の手前には轉出自在の偏光器 I 及びフィルター, 磨硝子板, 扇形絞, 石膏板等を挿入するスリット J がある。偏光器 I は前端的平面硝子板と後端的偏光フィルターから成り, 45° 回轉する事が出来る。

試料平面 N に於て透過或は反射した光線は對物鏡 O を経て鏡筒内に導かれる。對物鏡には乾燥系, 水浸系, 油浸系等があり, 乾燥系には液浸コーン, 水浸系及び油浸系には液浸キャップの附屬品を使用して浸液中で試料を検鏡する事ができる。落射光線により検鏡する試料の高さが大なる場合或は低倍率の對物鏡に液浸コーンを取付ける場合の如く載物臺を下げる必要あるときは集光器 H 及びバリオカラー G を取外し, 集光レンズ D を轉出させる。對物鏡 O の後端レンズの上には焦點深度を増大するための絞 P を挿入する事が出来る。Q は検光器で前端は平面硝子板, 後端は着脱自在の偏光フィルターから成り, 偏光フィルターの装着方位は臺に取付けられたピンによつて定められる。

對物鏡 O を経て鏡筒内を上昇する光線はホイヘンス接眼鏡 R に達する。接眼鏡 R の視野絞には接眼測微計が取付けられる。S は光路切換用プリズムで之を挿入することによつて光線を屈折せしめてプリズムに導き, 左右二つの光束に分ちプリズム U, U' によつて平行光束とし二つの鏡筒に取り入れてホイヘンス接眼鏡 V, V' に達せしめ双眼式検鏡が行はれる。尙接眼鏡 R を補正接眼鏡のペリプラン接眼鏡と交換し, 35mm フィルム用の顯微鏡々筒寫眞装置を取付け, 焦準用望遠鏡を覗いて焦準を合せ乍ら寫眞を撮影する事ができる。

第2圖は本寫眞装置に於ける光の經路を示す。



第2圖 顯微鏡々筒寫眞装置に於ける光の經路

R': ペリプラン接眼鏡
S': プリズム
W: シャッター
X: 望遠寫眞レンズ
Y: フィルム平面
Z: 焦準用望遠鏡

圖に於て結像光線はペリプラン接眼鏡 R' を経てプリズム S' に達し, その約75%は直進してシャッター W を経て望遠寫眞レンズ X によりフィルム面 Y に結像し, 約25%はプリズムの斜面の半透明鍍銀により直角に側方に屈折され焦準用望遠鏡 Z に至る。焦準用望遠鏡の對物鏡の焦點面には像の大きさと位置を決めるために原板の輪廓を示す十字線とこれに平行な十字線の刻まれた硝子板が取付けられており, 望遠鏡の接眼レンズは使用者の視度に應じて十字線を明視できるよう調節するようになっている。

b) 光 學 系

ウルトラパーク用對物鏡は鏡筒の長さ 185mm に設計され, 自由な作業距離が長く, 前端レンズの口径は對物鏡の開口數と視野の大きさに正確に對應し, 不正光線が對物鏡に導入される事がない。

ウルトラパーク對物鏡は計算上覆硝子なしで試料を検鏡するのに用ひるべきであるが, 低倍率の乾燥系對物鏡, 及び水浸並に油浸系の對物鏡は覆硝子をかけた試料の検鏡に使用しても支障なく, 落射及び透射光下で交互に検鏡する場合に使用する事が出来る。

低倍率の對物鏡 UO×3.8 乃至 ×11 には特殊の環状集光器が取付けられているが, 高倍率の對物鏡 UO×22 乃至 ×100 には同じ型の環状二重集光器が取付けられる。但し後者も夫々別に集光器を取付けて置く方が一ヶの集光器を共用するよりも使用上便利である。UO×6.5 乃至 ×100 の環状集光器は廻轉することによつて高さを調節出来, その位置は 5mm の範圍で 0.1mm 迄目盛によつて讀むことが出来る。

對物鏡の焦點深度を増大する絞には口径 5, 4, 3, 2.5, 2 及び 1.5mm の 6 種類がある。片側光線で落射照明をする場合に用ひられる扇形絞には開角 $0\sim 180^\circ$, $180\sim 270^\circ$ の 2 種類がある。

乾燥系對物鏡 UO×3.8 乃至 ×11 は液浸コーンを取付け液浸系として使用出来る。UO×11 I.A. 及び ×22 I.A. は液浸系専用であるが, 前者に 5mm の絞, 後者に 3mm の絞を挿入すれば液浸コーンを取外し乾燥系として

使用し得る。水浸系及び油浸系對物鏡には液浸キャップを取付ける事が出来る。

試料の表面が不規則な場合或は濕潤した場合、又は覆硝子を使用する場合等に於て試料の表面又は覆硝子の表面で落射光線が直接反射して映像の尖鋭度が低下する事がある。斯る場合には水浸又は油浸系として検査するか、偏光装置を利用する。

接眼鏡には單眼鏡筒用と双眼鏡筒用とがあり、前者には計測用のホイヘンス測微接眼鏡と寫眞撮影用のペリプラン接眼鏡、後者には双眼用のホイヘンス接眼鏡が附屬している。接眼鏡測微計には10mmを100等分したものと、目盛の間隔が夫々0.5、0.2及び0.075mmの三種の網狀測微計とがあり、對物測微計は2mmを200等分したものである。

集光器は二枚レンズ、開口數1.20のものである。低倍率の對物鏡を使用する場合には集光器の前端レンズは取外されなければならない。

第1~6表は本顯微鏡の光學系のデータを示す。

第1表 對 物 鏡

對 物 鏡 種 類	記 號	單 獨 倍 率	開 口 數	焦點距離 (mm)	自由作業 距 離 (mm)	環 狀 集 光 器	液浸用アタッチメント	
							コーン	キャップ
ア ク ロ マ ー ト 乾 燥 系	UO3.8	3.8	0.12	37.5	33	K 3.8	3.8	—
	UO11	11	0.25	14.9	5.8	K11	11	—
	UO22 I.A.*	22	0.45	7.9	2.2	K22-100	22 I.A.	—
螢 石 油 浸 系	UO60	60	0.85	3.2	0.57	K22-100	—	EZ23-100
	UO75	75	1.0	2.4	0.51	K22-100	—	EZ23-100

* 液浸系専用、乾燥系として使用する場合には液浸コーンを取外し、3mm對物鏡絞を挿入

第2表 接 眼 鏡

接 眼 鏡 種 類	記 號	單 獨 倍 率	焦點 距離 (mm)	用 途
ホイヘンス	B 6×	6	41.65	双眼檢鏡用
	B10×	10	25.0	〃
	M 6×	6	41.65	測微接眼鏡
ペリプラン	P10×	10	25.0	寫眞撮影用

第3表 顯微鏡の倍率

對 物 鏡	接眼鏡6×		接眼鏡10×		標準倍 率に對 する比
	倍率	相當焦 點距離 (mm)	倍率	相當焦 點距離 (mm)	
UO 3.8	28.0	8.92	46.7	5.35	1.23
UO11	81.6	3.06	136	1.84	1.24
UO22 I.A.*	162	1.54	271	0.92	1.23
UO60	420	0.60	700	0.36	1.17
UO75	570	0.44	950	0.26	1.27

* 3mm對物鏡絞挿入、乾燥系として使用

第4表 顯 微 鏡 の 視 野

接 眼 鏡	視 野 の 直 徑 (mm)					視 野 數** (mm)
	UO3.8	UO11	UO22 I.A.*	UO60	UO75	
B 6×	3.7	1.3	0.63	0.24	0.18	17.1
B10×	3.0	1.0	0.52	0.20	0.15	14.1
M 6×	3.9	1.3	0.67	0.26	0.19	18.1
P10×	3.3	1.1	0.57	0.22	0.16	15.4

* 3mm對物鏡絞挿入、乾燥系として使用

** 双眼鏡筒の光軸間隔を變へた場合の視野の大きさは視野數を用ひて計算することができる。

第5表 接 眼 測 微 計 の 値

對 物 鏡	接 眼 鏡 M6×			
	10mm=100等分 測 微 計		10mm×10mm 網 狀 測 微 計	
	測 微 計 (μ)	線 間 0.5mm (μ)	線 間 0.2mm (μ)	線 間 0.075mm (μ)
UO 3.8	33.3	166.7	66.7	25.0
UO11	11.4	57.0	22.8	8.55
UO22 I.A.*	5.74	28.7	11.5	4.31
UO60	2.21	11.1	4.42	1.66
UO75	1.62	8.11	3.24	1.22

* 3mm對物鏡絞挿入、乾燥系として使用

但し媒質の屈折率は乾燥系對物鏡では $n=1$ 、水浸系では $n=1.333$ 、油浸系では $n=1.515$ 、可視光線の平均波長は $\lambda=550\text{m}\mu$ とし、解像力は中心照明の場合は Abbe の式により、偏射照明の

第6表 開角、解像力、焦點深度、及び像の明るさ

對物鏡	開角 (°)	解像力 (μ)		焦點深度 (μ)		像の明るさ ($\times 10^{-5}$)	
		中心照明	偏射照明	接眼鏡 6×	接眼鏡 10×	接眼鏡 6×	接眼鏡 10×
UO 3.8	14	4.6	2.0	438	194	1.8	0.66
UO11	29	2.2	0.94	59	28	0.94	0.34
UO22 I.A.	54	1.2	0.52	21	10	0.77	0.28
UO60	68	0.65	0.28	4.2	2.2	0.41	0.15
UO75	83	0.55	0.24	2.5	1.4	0.31	0.11

場合は Berek の式において生理的係数 $k=0.35$ とおき、焦點深度は Berek の式により求めた。¹²⁾ 双眼檢鏡の場合には接眼鏡の光軸間隔の 66mm が單眼檢鏡の場合の筒長に相當するが、この間隔を變えれば第7表に示す如く顯微鏡の倍率が稍變化する。從つて視野の大いさ、接眼測微計の値、焦點深度、像の明るさ等もそれに應じて多少變化する。第8表は双眼鏡筒の光軸間隔と接眼測微計の値の關係を示す。

第7表 双眼鏡筒の光軸間隔と倍率との關係

光軸間隔 (mm)	標準倍率に對する比				
	UO3.8	UO11	UO22 I.A.**	UO60	UO75
56	1.20	1.21	1.20	1.15	1.24
61	1.21	1.22	1.21	1.16	1.26
66*	1.23	1.24	1.23	1.17	1.27
71	1.24	1.25	1.24	1.18	1.28
76	1.26	1.27	1.26	1.19	1.29

第8表 双眼鏡筒の光軸間隔と接眼測微計の値との關係

光軸間隔 (mm)	標準値に對する比
56	1.02
61	1.01
66*	1.00
71	0.988
76	0.976

* 單眼鏡筒の筒長に相當する標準間隔

** 3mm 對物鏡挿入、乾燥系として使用

* 單眼鏡筒の筒長に相當する標準間隔

c) 光源

光源として使用される低壓電球は 6V, 5A 用で、連續負荷の場合は $5\sim 5\frac{1}{2}\text{A}$ 、最高負荷の場合は 6A で使用出来る。附屬の變壓器は透射及び落射照明用の二個からなり、一つの函内に收められ、各別に電流計及びスイッチが備付られている。變壓器の入力電壓は電源の電壓に應じて 110~130V、或は 220~240V になるよう結線する事が出来る。

明視野照明には 4A 程度、暗視野照明或は偏光を使用する場合には $5\frac{1}{2}$ 乃至 6A の電流が適當である。明暗兩視野照明で晝光に近い照明効果にする場合には附屬の青色フィルターを照明函のスリットに挿入する。人工光用のカラーフィルムを用ひて寫眞を撮影する場合には最高負荷とすればフィルターは不用である。明視野照明の場合青色フィルターに磨硝子を併用すれば照明を均一にすることが出来る。

第3圖は附屬の低壓電球2個について織條電流と輝度温度との關係を測定した結果を示す。第

第9表 タングステン光源の輝度温度と眞の温度及び色温度との關係

輝度温度 $T_{0.65\mu}$ (°K)	眞の温度 T (°K)	色温度 T_c (°K)
2,130	2,318	2,364
2,300	2,524	2,581
2,440	2,696	2,765
2,570	2,859	2,940
2,690	3,011	3,104

9 表はタングステン光源の輝度温度と眞の温度及び色温度との關係を見るために掲げた。¹³⁾

即ち織條電流を増すことによつて、光源のスペクトルの重心を短波長帯の方へ移動させ、落射照明の場合に鑛物の反射の色を強め深める事が出来る。例へば光源の光度が低い場合には晝光色フィルターを用いても方鉛礦は黄色を帯びて見えるが、最高負荷の照明では純白色に見える。

第4圖は上記電球2個について織條電流と光源の比

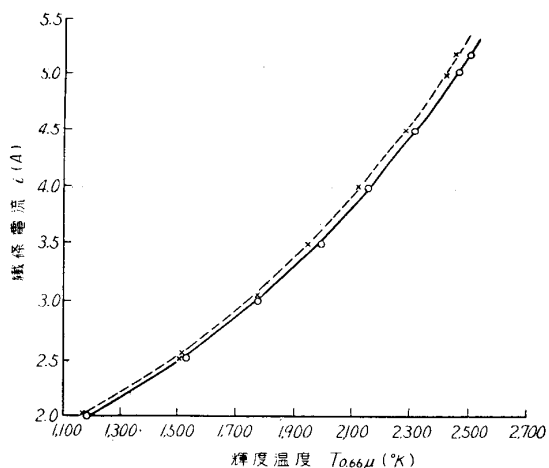
強度との關係を畫いたものである。

12) Burri, Conrad: Das Polarisationsmikroskop. Basel (1950), 85, 109, 102, 115.

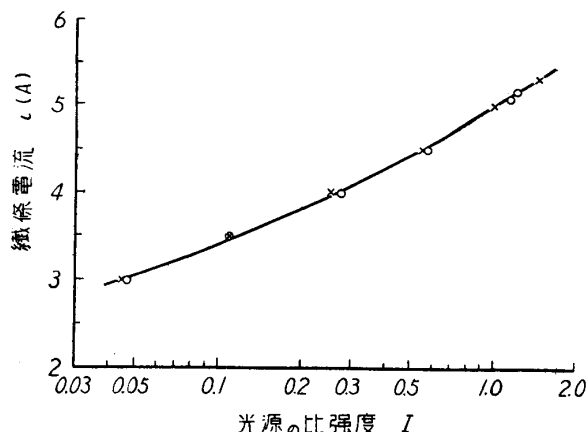
13) 表中の數値は American Institute of Physics: Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry. (1941), 1318, Table 22 の數値から算出した。

d) 色フィルター

第10表は硝子フィルターの性能を示す。これらの中 IB, IIB, 及び IIIB の青色フィルターは殆



第3圖 織條電流と輝度温度との関係
—x— 電球 No. 1 —o— 電球 No. 2



第4圖 織條電流と光源の比強度との関係

第10表 硝子フィルターの性能

記 號	種 別	吸 收 特 性	大 い さ (mm)	厚 (mm)	露 光 係 數 (低壓電球)
I. 照明函用 フィルター					
IB	青 色	赤色, 橙色, 黄色及び緑色光の一部	34×55	1.7	2.5
IF	散 光		34×55	1.7	1.3
II. 集光器用 フィルター					
IIB	青 色	赤色, 橙色, 黄色及び緑色光の一部	29.4φ	1.0	2.3
IIF	散 光		29.4φ	1.4	1.4
III. ウルトロパーク用フィルター					
IIIB	青 色	赤色, 橙色, 黄色及び緑色光の一部	27.4φ	1.1	2.1
IIIG	淡 緑 色	暗赤色及び赤色光の一部	27.4φ	0.9	1.2
IIYIG	黄 緑 色	暗赤色及び赤色光, 一部の橙色光	27.4φ	0.6	1.7
IIY	黄 色	紫色及び青紫色光	27.4φ	0.8	1.2
IIIF	散 光		27.4φ	1.1	1.4

んど同一の色調を有する。第5圖はウルトロパーク用フィルターに就て測定した分光透過曲線を示す。¹⁴⁾ 散光用の磨硝子板は分光的に多少選擇散光をする傾向があり,¹⁵⁾ 第11表はウルトロパーク用散光フィルターについて測定した結果から算出した透過光の比強度を示す。¹⁶⁾

バリオカラーは石英の圓偏光によつて決定される干渉色が偏光器を廻轉することにより連続的に弱められたり, 強められたりする性質を利用したもので, これから出る光は Newton の干渉色を連続的に表はす。偏光器の廻轉角を特定の干渉色に合はせるために廻轉圓盤には5°おきに目盛が刻まれており, 之に對して180°間隔に2本の標線が刻まれている。¹⁷⁾

Priest¹⁸⁾ によれば廻轉分散フィルターの色光に對する相對透過率は次式によつて示される。

14) 松尾茂樹理學士並に菊地浩五郎理學士の測定された結果による。

15) 藤澤 信, 田島又一: 顯微鏡寫眞技術. (1954), 74, 110, 152, 157.

16) 菊地浩五郎理學士の測定された結果による。

17) 當所に納入されたバリオカラーにはこの標線が刻まれていないので, 偏光器の光の振動方向が直交する位置を0°とするように2本の標線をつけた。¹⁸⁾

18) Priest, Irwin G.: J. Opt. Soc. Am. 7 (1923), 1175—1209.

(科學計測研究所櫻井研究室高橋眞一理學士の御好意による。)

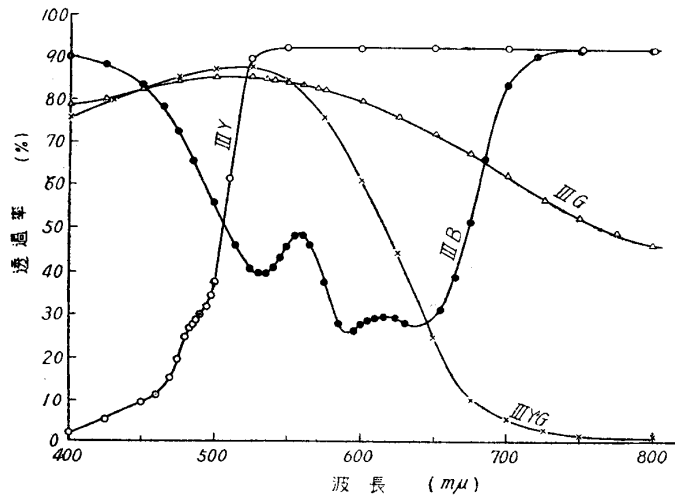
$$T_{\lambda} = \sin^2(\phi - ba_{\lambda}) \dots\dots\dots (1)$$

但し T_{λ} = 波長 λ の色光に対する相対透過率

a_{λ} = 波長 λ の色光に対する石英板の厚さ 1mm 當りの偏光面の廻轉角度

b = 石英板の厚さ, mm

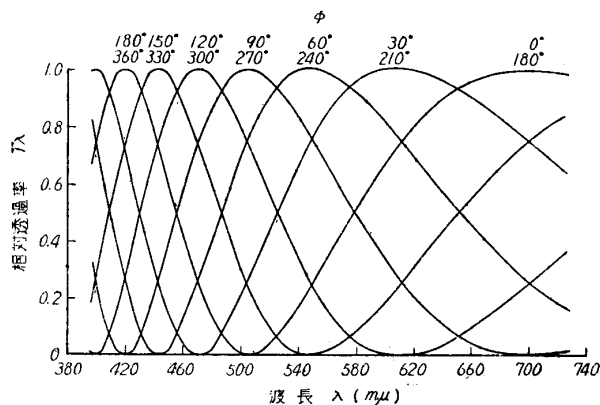
ϕ = 石英板を取除いた場合の消光位から, 石英の偏光面の廻轉方向に測られた検光器の廻轉角度



第5圖 ウルトロバーク用フィルターの分光透過曲線

- IIIB: 青色フィルター
- △— IIIG: 淡緑色フィルター
- ×— IIYG: 黄緑色フィルター
- IIY: 黄色フィルター

た分光透過曲線, 第7圖は相対透過率が最大となる波長に對應する廻轉角度を示す。



第6圖 バリオカラーの分光透過曲線

第12表はバリオカラーの廻轉角度と露光係数との關係を示す。

e) 偏光フィルター

以前製造されていた偏光フィルターは透過力が不充分で色が残っており, 標準のニコルプリズムに比べて著しく劣っていたが, 最近出されている改良された偏光フィルターはその寿命並に

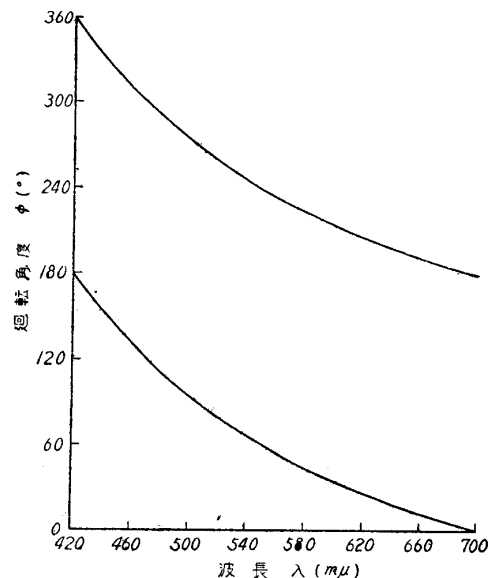
第11表 散光フィルター透過光の比強度

波長 (mμ)	透過光の比強度* (%)
400	87.2
450	90.4
500	94.4
550	100
600	106.4
650	107.2
700	110.4
750	114.3
800	118.7

* 硝子の透明な面から光が入射した場合の測定値

こゝに a_{λ} は既知であり,¹⁹⁾ b の値は本バリオカラーでは5.973mm²⁰⁾であるから, (1) 式によつて任意の色光及び廻轉角度に對して相対透過率を求めることができる。

第6圖は廻轉角度の 30° おきに求め



第7圖 バリオカラーの廻轉角度と相対透過率が最大となる波長との關係

19) National Research Council of the U.S.A: Intern. Critical Tables of Numerical Data, Physics, Chemistry and Technology. 6 (1929), 342.

20) 文献⁵⁾⁷⁾には 3mm と記載されているが觀測の結果 6mm と推測されたので, 實測の結果 5.973mm と確認した。

光學的性質に於て信頼出来るものであると云はれているが、²¹⁾ 本顕微鏡の檢光器の偏光板は購入後1年數ヶ月で使用に耐えなくなつた。しかし偏光器及びバリオカラーの偏光板については未だ異常が認められない。ただバリオカラーの偏光板に二、三箇所斑點狀の結晶の剝離した部分が認められる。寫眞2は變化を起した偏光板の外観を示す。淡黄色或は綠色に着色した部分が斑點狀に散在し、他は殆んど無色で縞模様が見られる。この無色の部分は偏光で觀察すると極く弱い多色性を呈することが認められる。

星野博士²²⁾によれば多結晶型偏光板の薄膜は150°C迄加熱後冷却しても永久變化を生じないが、高分子多色性型偏光板は耐熱性が遙に低い。又壽命については多結晶型は相當安定であるが、高分子多色性型は沃素の揮散、バインダーとの反應による沃化物への變化などにもとづいて偏光度が低下することがある。

本顕微鏡の偏光板の變化を起した原因については明かでないが、夏季の高温多湿が考へられる。兎に角この種の偏光板の保存には恒温恒湿が望ましく、餘り乾燥し過ぎたり湿氣が多過ぎてもよくないと云はれる。²³⁾ よつて本顕微鏡格納用硝子ケースの内部には乾燥剤と湿度計を置き、その湿度が見られるようにした。

f) 機 構

鏡基は耐蝕性輕合金により一體として鑄造されたものである。粗動及び微動焦準装置にはボールベヤリングが用ひられ、上下動可能範圍は粗動装置29mm、微動装置2.5mmである。微動装置のマイクロメーターの全周は100等分され、²⁴⁾1目盛は載物臺の上下動の0.001mmに、1回轉は0.1mmに相當する。

集光器支持臺は燕尾溝によつて集光器を交換出来るもので、ラック齒車による上下動可能範圍は26mmである。集光器の下にはフィルター支持棒付の紅彩紋或はバリオカラーがねじ込まれる。

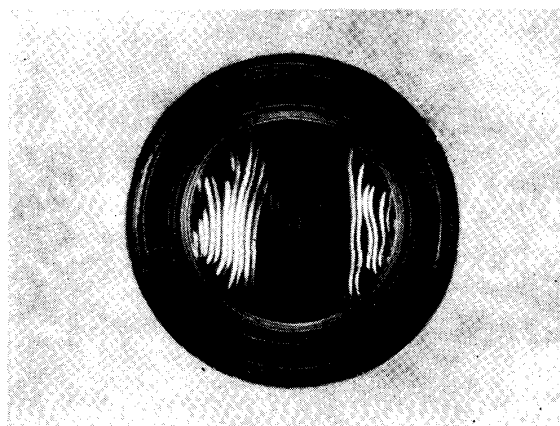
載物臺は圓形、廻轉及び求心式で中央の孔の直徑は26mmである。載物臺の取付高さは焦準装置と無關係に調節出来るので比較的厚い試料でも檢鏡することができる。載物臺には移動範圍30mm×30mmの十字動載物臺が取付けられる。移動距離はmm目盛と副尺によつて0.1mmまで讀むことができる。

鏡體支持器には鏡體交換用の溝があり、鏡筒は内徑38mmで垂直の單眼接眼鏡筒と之に對して60°傾斜した双眼接眼鏡筒を備へている。接眼鏡筒の内徑は何れも23mmである。單眼鏡筒の機械的筒長は220mmで、双眼接眼鏡筒はその光軸間隔を56~76mmの範圍に調節する事ができ、その66mmが單眼鏡筒の筒長に相當する。35mmフィルム用顯微鏡寫眞装置は垂直單眼鏡筒に取付けられる。

本寫眞装置は圓錐型アダプター、側管付焦準装置、シャッター、リリース2本、接眼鏡の止輪及びペリプラン接眼鏡よりなり、接眼鏡を除く重量は365gで、これに36枚撮りのフィルムを裝填したカメラボディを取付けば總重量は540gとなる。²⁵⁾

第12表 バリオカラーの露光係數
(低壓電球 $i=5.3A$)

廻轉角度 $\phi(^{\circ})$	露光係數 f	$f/f_{45^{\circ}}$		
45	225	17.7	1.00	225 45
55	235	17.9	1.01	215 35
65	245	18.4	1.04	205 25
75	255	19.5	1.10	195 15
85	265	21.3	1.20	185 5
95	275	23.7	1.34	175 355
105	285	27.3	1.54	165 345
115	295	30.6	1.73	155 335
125	305	33.3	1.88	145 325
135	315	34.7	1.96	135 315
		f	$f/f_{45^{\circ}}$	$\phi(^{\circ})$
		露光係數		廻轉角度



寫眞2 檢光器の偏光板の變質狀況
中央の三つの斑點は淡黄色、下部の
二つの斑點は淡綠色に着色している

21) Polarizing Microscopes CM and IIIM. Ernst Leitz, Wetzlar, 3.

22) 福島信之助、藤澤 信：科學寫眞便覧。(1950), 716.

23) 株式会社シュミット瀬野尾俊一氏の私信による。

24) 本顕微鏡のマイクロメーターには10目盛おきに數字が刻まれているが、0の次は20にとび順次ずれて目盛の80に相當するところに90の數字が刻まれ90に相當するところは目盛がない。目盛の誤りと考へられるが、測定の際注意して目盛を讀む必要がある。

25) ライカカメラ又はライカマウントをもつライカ判カメラのボディはどれでも使用することができる。例へばキャノン IID 型のボディはフィルムを裝填した場合リリース付で重量567gである。

(3) 覆硝子をかけた浸液中での觀察. 覆硝子をかけた散布試料の場合には最も正確な結果が得られる. スライド硝子の上に豫め 1, 2 滴の浸液をおき, この中に粒狀試料を散布し, 覆硝子をかける. この際粒子の直径が不揃であるとき覆硝子が完全に平行とならず液が一方に流れることがある. この空間を満すには硝子棒で浸液の滴を覆硝子の下に添加する. 研究用にはカナダバルサム, コロリット ($n=1.53$) 等を用いて永久標本を作るのがよい.²⁶⁾²⁷⁾ 最近では永久標本用として屈折率の高いビペリン ($n=1.68$) 其他類似の人工樹脂類が用いられている.¹²⁾ 對物鏡としては低倍率には乾燥系, 高倍率には油浸系が用いられる. 然し乾燥系の UO50 を用いて反射又は透過力の弱い鑛物を觀察する場合には覆硝子の表面反射が妨げとなることがある.

試料は新しいものを使用する必要がある. 空氣中に永く放置されたものは表面が酸化被膜で覆はれ, 固有の色が害はれる. 必要ならばアルコール, 酸等で洗滌する.⁷⁾²⁷⁾ 鑛粒の散布密度は個々の鑛粒の間に光線が通過する餘地のある程度に止める.

試料を研磨片とする方法では細粒に對して確實な結果が得難い. 研磨片では選鑛顯微鏡による鑑定の際目安となる鑛粒の表面の性状, 劈開, 斷口等の凝聚性, 微細粒子の場合には色調等が失はれる. 粗粒に對しては研磨面の反射は弱く, 鑛物と封入劑との間に硬度の差がある場合には境界線の判別が困難で, 鑛粒の測定が正確に行はれない. この方法はむしろ鑛石顯微鏡による垂直の落射光を用ひる精密鑑定に適當する. 但しこの場合でも鑛粒の大きさは 0.1mm 以上であることが望ましい.

鑛粒の測定は落射或は透射光下で單眼鏡筒或は雙眼鏡筒の何れか一方に測微接眼鏡を挿入して行はれる. 後者の測定には他の接眼鏡を取外し單眼として觀察する. この場合には雙眼鏡筒の光軸間隔に應じた目定めを行はなければならない. (第 8 表參照) 鑛粒の厚さを測定するには微動焦準裝置を利用する. 媒質の屈折率が異なる場合には測定値に鑛粒の存在する媒質の屈折率 n と對物鏡と覆硝子との間の媒質の屈折率 n' の比に相當する補正係數 n/n' を乗じなければならない. 又測定の精度を上げるためには焦點深度の浅い對物鏡に倍率の大きい接眼鏡を併用する.

鑛粒の計數には網狀接眼測微計を使用し, 目の大きさは鑛粒の大きさに適當したものを選ぶ. 試料の廣い面積を計測する必要がある場合は十字動載物臺を利用する. 試料としては成可く細く分粒されたものがよい. 普通の場合には粒徑の比を 1/2 に取れば充分で, 平均粒徑と鑛粒の比重から鑛物組成或は化學分析値を算出して差支ない. 計測に必要な粒子數は最少 300,¹²⁾ 平均 1,000⁷⁾ 程度とされている. 計數には明暗のコントラストを強めた方が見易く, 透射光では載物臺の下の方彩紋を狭め, 或は之を横に移動して偏射照明とし, 落射照明では焦準裝置と環狀集光器を調節し, 或は光線の入射管に扇形紋を挿入する. 透明鑛物について等方體と異方體とを區別する必要がある場合にはバリオカラーをその檢光器が鏡筒内の檢光器と直交する位置に取付けて觀察することができる.

b) 寫眞撮影

フィルムとしては微粒子, 全整色, 硬調のものが適當である. 透射光による撮影では, 白色光を用いればコントラストは充分であるが, 場合によつては強過ぎる事がある. 斯る場合には焼付の際赤色或は黄色光を用いてコントラストを適度に弱める必要がある. これに反して落射光による撮影ではコントラストが弱い事が屢々ある. Short²⁸⁾ はコントラストフィルターとして第14表に挙げたものを推奨している. コントラストを強めるために特別のフィルターを必要としない場合でも綠色及び濃黄色フィルター或は綠色フィルター單獨をアクロマート對物鏡に對して使用すれば尖鋭度を高めることができる.

適正な露光時間を決定するには撮影條件を出来るだけ一定とし, 詳細な記録をとると共に成可く計器を利用する. 試験

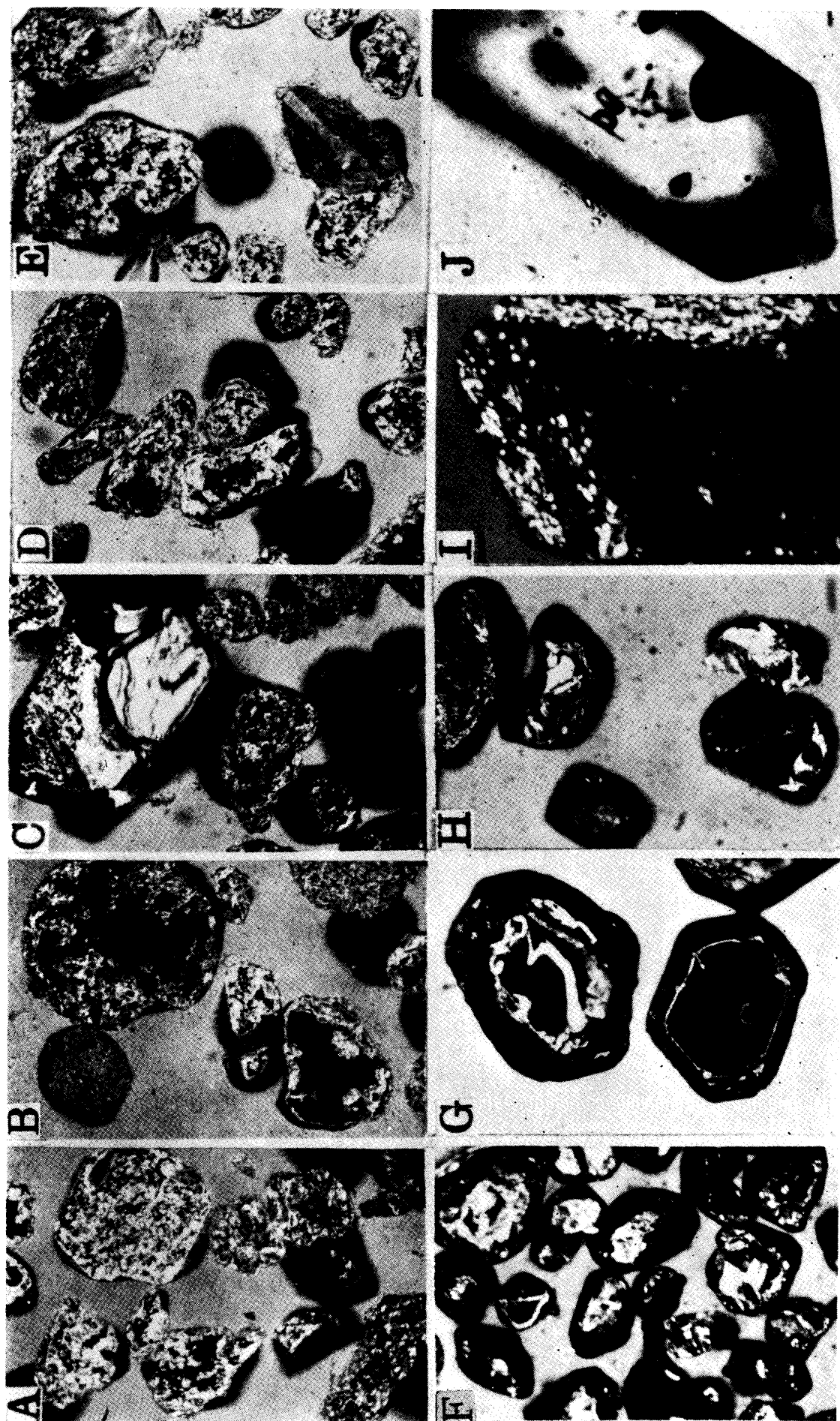
第14表 コントラストフィルター(Short)

フ ィ ル タ ー	識 別 鑛 物
青 色	黃銅鑛—方鉛鑛
〃	〃 — 黃鐵鑛
〃	輝銅鑛—銅 藍
〃	鏡鐵鑛—磁鐵鑛
〃	斑銅鑛—銅 藍
綠 色	黃銅鑛—方鉛鑛
〃	〃 — 輝銅鑛
〃	〃 — 〃 — 斑銅鑛
〃	雜色の輝銅鑛
〃	斑銅鑛—砒黝銅鑛
〃	輝銀鑛—方鉛鑛
綠 黄 色	閃亞鉛鑛
〃	脈 石 類
黄 色	閃亞鉛鑛
〃	脈 石 類
任意乃至不用	輝銅鑛—斑銅鑛

26) 和田正美: 岩石, 32 (1944), 207.

27) 田口一雄: 岩石, 38 (1954), 138.

28) Short, M.N.: Microscopic Determination of the Ore Minerals. 2nd ed. U.S. Geological Survey Bull. 914 (1940), 53.



寫眞 3 青森縣淋代平産砂鐵鏡試料顯微鏡寫眞

第15表 青森縣津代平産砂鐵鏡試料顯微鏡寫眞撮影條件

寫眞	試料	粒度 (mesh)	浸液又は封入剤	研磨	覆硝子	對物鏡	接眼鏡	對物鏡 絞	アタック メソッド	落射光 集光器 (mm)	透射光 集光器	落射光 偏光器	扇形絞	透射光 集光器 レンズ	偏射照 明 用 紅彩絞
4-A	磁選精鐵 ^{a)}	28~270	レーグサイドセ メント No. 70	Cr ₂ O ₃ 仕上	なし	UO11b)	P10×	なし	なし	2.0	1枚	使用	なし	使用	なし
4-B	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
4-C	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
4-D	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
4-E	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
4-F	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
4-G	磁選尾鐵	100~150	なし	なし	"	"	"	2mm	"	"	"	なし	"	"	"
4-H	原鐵	270~325	ニトロベンゾール	"	UO22I.A.b)	"	"	3mm	コーン	"	2枚	"	"	"	"
4-I	"	"	カナダダバルサム	"	使用	"	"	"	コーン d)	"	"	"	"	"	"
4-J	"	"	"	"	"	UO60c)	"	1.5mm	なし	2.6	"	"	"	"	"
						"	"	"	"	"	"	"	"	"	"

ウルトロパーク フィルター	バリ ラ イ ン	カ ン ン	落射光 照 射 光 照 射 光 照	透射光 照 射 光 照 射 光 照	透射光 照 射 光 照 射 光 照	露光時間 (sec)	フィルム	倍率	紙	印	備	考
なし	285	IB	IB	5.3	4.5	80	Minicopy ^{c)}	90	Bellona F2D		磁鐵鐵粒	
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		磁鐵鐵粒中に介在するチタン鐵鐵粒 (左上)	
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		磁鐵鐵と赤鐵鐵 (白色部) の共生組織を示す鐵粒 (上)	
"	"	"	"	"	"	160	"	"	"		磁鐵鐵粒中に見られる周縁部が磁赤鐵鐵化した鐵粒 (中右)	
"	"	"	"	"	"	480	"	"	"		磁鐵鐵粒中に介在する角閃石と共生する片叉粒子 (上右, 下左)	
"	"	"	"	"	"	960	"	180	"		磁鐵鐵粒の外観	
"	"	"	"	5.2	3.3	240	"	"	"		チタン鐵鐵粒	
"	"	"	"	5.3	3.7	2,400	"	"	"		磁鐵鐵粒中に見出される黄銅鐵鐵粒 (下右)	
"	"	"	"	5.2	3.3	300	"	470	"		赤鐵鐵結晶粒	
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		風信子鐵結晶粒	
"	"	"	"	4.7	4.5	"	"	"	"			

a) 平均品位 : 53.9%Fe, 9.2%TiO₂; TiO₂/Fe=0.171 b) 乾燥系 c) 油浸系, シター油の屈折率 $n=1.510(18^{\circ}\text{C})$ d) コーソンの間をシター油にて油浸

e) 寫眞裝置倍率 1/3×, Copinalにて現像 f) 引伸倍率 2×, Korectorにて現像

露光を行う場合の露光時間の比は大體の見當がつく迄は成可く大きく、例へば5~10位にとり、見當がつけば2 或はそれ以下にとる。一般に黑白寫眞では標本の暗部を基準として露光が決定されるが、反轉法によるカラーフィルムでは反對に明るい部分を基準にして露光が決定される。人工光用カラーフィルムに對しては3,200°K の色温度の光源が必要であり、晝光用カラーフィルムに對しては色温度 2,848°K の光源に色温度變換フィルターを併用する。¹⁵⁾ カラーフィルムに對する露光は黑白用フィルムによる試験露光の結果から判定することができる¹⁵⁾。一般に多層式カラーフィルムは 1/200~1sec の露光時間で色のバランスがとれるように作られているので、1sec 以上の露光を必要とする場合には照明法、補正フィルター等について研究する必要がある。

寫眞3は青森縣淋代平産砂鐵鑛を試料として撮影した顯微鏡寫眞の數例を示す。その撮影條件は第15表に掲げる如くである。石炭薄片の顯微鏡寫眞の數例に就ては既に報告した。²⁹⁾

5. 總 括

ウルトロパーク選鑛顯微鏡とその應用に資するため、本顯微鏡の特長、構造、光學系、光源、色フィルター、偏光フィルター、檢鏡及び寫眞撮影法について解説し、砂鐵鑛試料の顯微鏡寫眞の數例を示した。

前所長石原富松博士、所長小野健二教授、並に理學部長渡邊萬次郎教授は御懇篤なる御指導を賜り、岡好良教授、竹内常彦教授、三本木貢治教授、大谷正康助教授並に科學計測研究所櫻井武麿教授は測定上一方ならぬ御援助を賜つた。

本顯微鏡は昭和27年度文部省輸入機械購入費補助金によりドイツ、ライツ社からの輸入を許可されたものである。

茲に記して深謝の意を表する。

(昭和29年12月9日受理)

29) 和田正美、本間寅二郎、眞島 宏、石川忠雄、橋本敏雄、菊地浩五郎：選研彙，9 (1953)，223.